

2312 サーマルインクジェットノズルからの液滴噴射における液粘度の影響

Effect of liquid viscosity on the droplet ejection from a thermal inkjet nozzle

機正 奥山 邦人 (横国大)

○ 市石 賢司 (横国大学院)

機正 森 昌司 (横国大)

Kunito OKUYAMA, Kenji ICHIISHI and Shoji MORI

Department of Chemical Engineering Science, Yokohama National Univ.

Key Words: Effect of liquid viscosity, Thermal inkjet, Droplet ejection, Two-stage pulse heating

1. まえがき

インクジェット(以下IJ)技術は比較的安価な設備で、数 μm 程度の大きさの液滴を再現性良く高速(約10m/s)で吐出することができることから、高品位印刷のみならず微細構造物形成やマイクロカプセル形成など多分野への応用が期待されている。しかしこれらの応用では、水に比べて粘度が高い液体を使用することが多い。粘度が非常に高くなると微小ノズルからの吐出が困難となること、また液体の粘度によって吐出の形態は大きく変化することが予想されるが、粘度の吐出に与える影響を系統的且つ実験的に調べた研究は著者の知る限り見あたらないようである。

サーマルIJ(Fig.1)は微小ノズル内のヒータのパルス加熱によって発生した急速沸騰気泡が液体吐出の駆動源となる。著者らは吐出力増強法として、気泡発生用高加熱パルスの前に予熱パルス過程を設けた独自の二段パルス加熱法(Fig.2)を提案している。¹⁾この方法を用いることで気泡の成長が促進され吐出可能な液粘度の範囲を拡張することが出来る。

本研究では、水に比べて粘度の高い液体をサーマルIJノズルから吐出させ、液体の吐出挙動に対する液粘度の影響を調べ、また二段パルス加熱法による気泡の増大化効果及び吐出促進効果について調べる。

2. 実験装置及び方法

実験にはHP社製51604A Print cartridgeを用いた。矩形のパルス信号を増幅し、ノズル内の薄膜ヒータ($100 \times 110 \mu\text{m}$ 、抵抗約60 Ω)を通电加熱した際の試料液(蒸留水及びグリセリン水溶液(AGS)、アルギン酸ナトリウム水溶液(SAS))の急速沸騰気泡とノズル(直径60 μm 、ヒータからの高さ90 μm)からの水平噴射挙動を、顕微鏡と35mmカメラを用いてストロボ撮影した。気泡の観察はノズル天板を外した状態で行った。ヒータの発熱量 Q (表面積で除した熱流束換算値として表示)はデジタルオシロスコープに記録した電極間電圧及び加熱電流の値から求めた。

3. 結果及び考察

Fig.3は蒸留水、70wt%AGS(粘度は水の約20倍)並びに1.0wt%SAS(剪断速度 $=4.61 \times 10^3 [1/s]$)のとき、粘度は水の約20倍)におけるパルス加熱時の沸騰様相で、(a)は一段パルス加熱(予熱なし)(t は加熱開始からの時間)、(b)は二段パルス加熱(t は二段目のパルス加熱開始からの時間)の場合の例をそれぞれ表す。

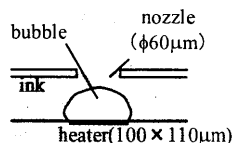


Fig.1 Thermal inkjet nozzle

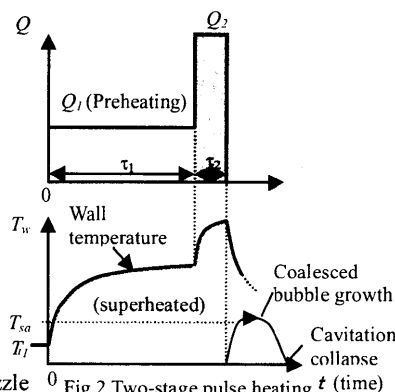
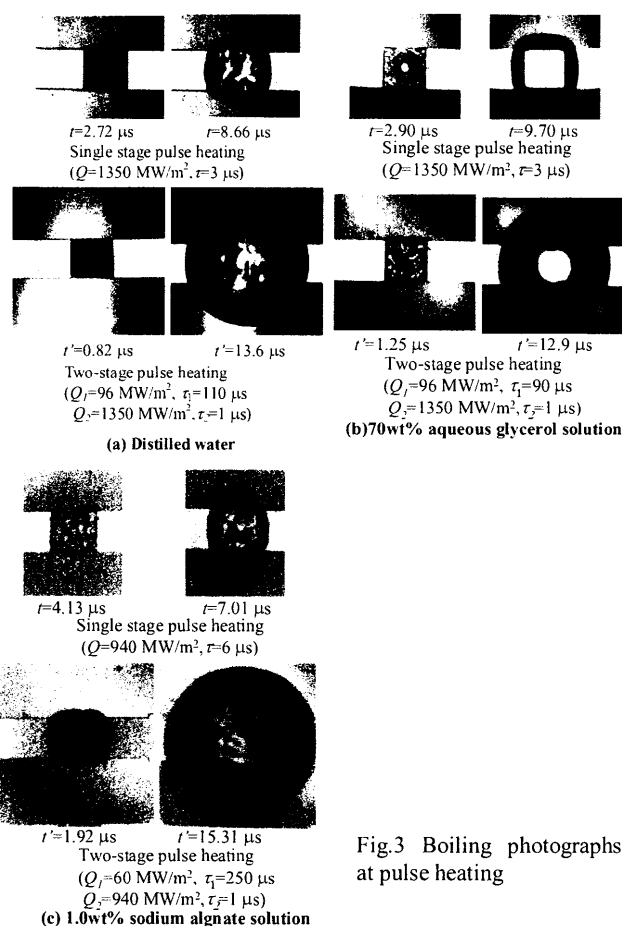
Fig.2 Two-stage pulse heating t (time)

Fig.3 Boiling photographs at pulse heating

ここで、SASとはカルシウムイオンと反応してゲル化する高分子液体で、IJ技術の応用の一つであるバイオプリンティングに用いられる。²⁾しかし、SASは蒸留水やAGSのようなニュートン流体ではなく、せん断応力が大きくなることによって粘度の値が小さくなる塑性流体(非ニュートン流体)である。

沸騰開始時の温度上昇速度は約1億度/秒で、自発核生成による微小気泡が合体成長し直ちに収縮消滅する。液粘度が高い場合や、塑性流体においても気泡成長に対し二段パルス加熱が有効であることがわかる。

Fig.4は、蒸留水、70wt%AGS並びに1.0wt%SASにおけるノズルからの液滴の吐出様相を、それぞれ一段パルス加熱、二段パルス加熱の場合について示す。基本的に、最初細長い円柱状に押し出され、途中がくびれていくつかの滴に分裂し飛翔する。水の場合、二段パルスでは一段パルスに比べ液柱がより太くかつ長くなり、先端から液滴が分離する。70wt%AGSでは、特に二段パルスの場合、液柱後方が細く滑らかに伸び、液柱の不安定波の成長が抑制され、分裂が遅れる。しかし、さらに粘度が高くなると液柱部は糸状にまで細くなり、先端部がよりノズルに近い位置で分離し、液滴を

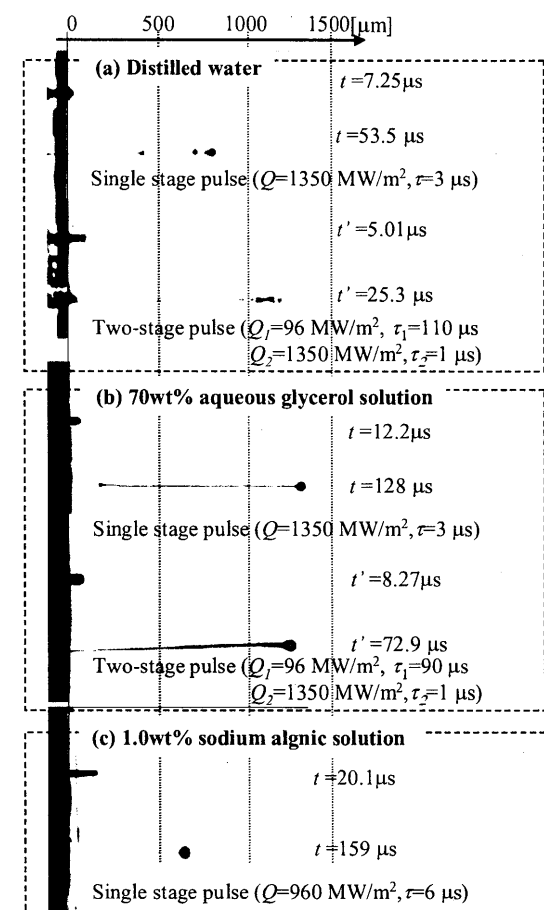


Fig.4 Photographs of droplet ejection from TII nozzle

形成した。1.0wt%SAS では、70%を越える高粘度の AGS に類似した様相であった。

Fig.5 は、ノズル出口における吐出速度 u_e と水に対する比粘度 μ/μ_0 の関係を示す。一段パルス、二段パルスのいずれの場合も液粘度の増加とともに吐出速度が減少する。いずれの液粘度においても二段パルスの方が一段パルスより吐出速度が大きくなることから、AGS の吐出に関して二段パルス加熱が有効であることがわかる。本実験において、AGS の吐出可能な最大濃度は、一段パルス加熱において 80wt%($\mu/\mu_0=59.8[-]$)、また二段パルス加熱において 85%($\mu/\mu_0=99.9[-]$)であった。

Fig.6 は、グリセリン水溶液並びに蒸留水における吐出液先端球形部の直径 d (打ち出された吐出液が細長く伸びた後、ノズルから離れた直後)の水に対する比粘度 μ/μ_0 による変化を示す。一段パルスの場合、液滴の大きさは粘度の増加とともに僅かに増加し、二段パルスの場合には粘度の増加により一旦減少したのち増加に転じる傾向を示すものの、実験した範囲のいずれの粘度においても二段パルスの方が、一段パルスよりも大きな液滴が生成することがわかる。二段パルス加熱では短時間の間に気泡が非常に大きく成長するため、より多くの量の液体がノズルから高速で押し出されるためと考えられる。

Fig.7 は、打ち出された吐出液が細長く伸びた後、ノズルから離れた直後の、細長い円柱状部分の長さ l_{satel} を、グリセリン水溶液と蒸留水について、水に対する比粘度 μ/μ_0 を横軸にとり示したものである。一段パルス、二段パルスのいずれの場合も液粘度の増加とともに円柱状部分の長さは顕著に増加したのち減少に転じる。また、二段パルスの方が一段パルスより切断する前に液柱部分はより長く伸びるこ

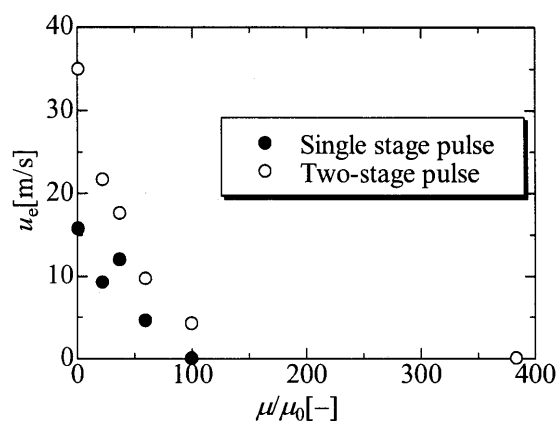


Fig.5 Ejection velocity of droplet as a function of specific viscosity

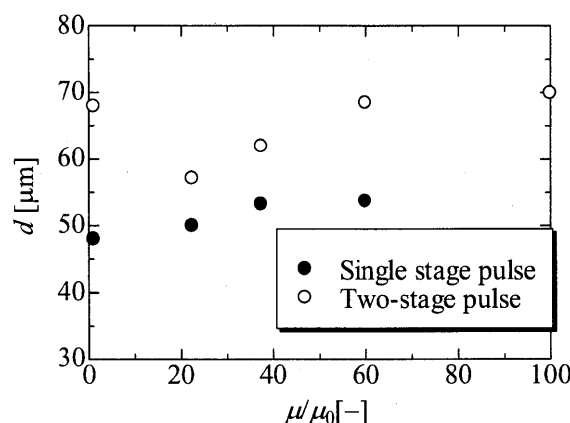


Fig.6 Droplet diameter as a function of specific viscosity

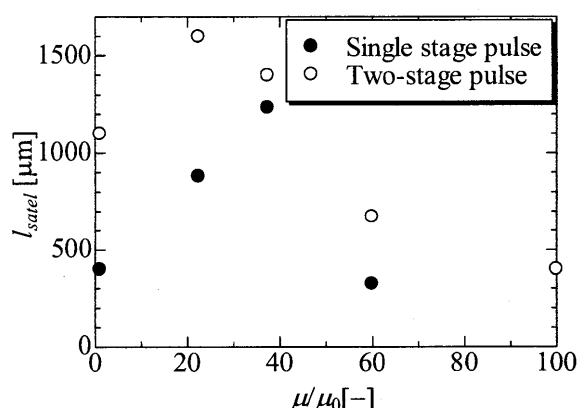


Fig.7 Satellite drop length as a function of specific viscosity

とがわかる。

4. おわりに

蒸留水や種々の濃度のグリセリン水溶液、また塑性流体であるアルギン酸ナトリウム水溶液において二段パルス加熱による気泡増大化効果を示した。またグリセリン水溶液において粘度の増加による吐出速度の低下や、液滴径の変化、液滴の円柱状部分の長さの変化を示した。

5. 参考文献

- 1) 奥山ら, “二段高パルス加熱沸騰による微小ノズルからの液滴噴射の挙動” 第 44 回日本伝熱シンポ講論集 pp.531-532, (2007).
- 2) 岩永ら, “バイオプリンティング技術による細胞成分を含む 3 次元組織再構築の検討” 化学工学会第 73 年会研究発表講演要旨集 H113, p.297, (2008).